

# 계단형 슬롯을 갖는 이중 ISM 대역용 개구결합 마이크로스트립 안테나 설계

박 기 동

동강대학교, 전기전자과

## Design of Aperture-Coupled Microstrip Antenna with Step Slots for Dual ISM Band

Ki-Dong Park

*Department of Electrical & Electronic, DongKang College, Gwangju, Korea*  
(Received : Feb. 18, 2017, Revised : Mar. 23, 2017, Accepted : Mar. 27, 2017)

Abstract : Aperture coupled microstrip antenna with step slots for dual ISM band is proposed in this paper. The proposed antenna is useful for 2.4GHz and 5GHz ISM band and its radiation element is a rectangular patch with a pair of step-slot. By using FDTD method, parameters of the antenna structure is analysed and then the optimal design values is obtained. Analysed result of S11 for the proposed antenna is compared with HFSS result. It is able to verify that the proposed antenna is valuable enough to be used in communications such as NFC, DSRC.

Keyword : FDTD, dual frequency, ISM band, aperture-coupled microstrip antenna

### 1. 서 론

최근 ICT(Information & Communication Technology) 산업에서 가장 각광받는 이슈는 단연 IoT(Internet of Things)일 것이다. ICT산업의 차세대 먹거리인 IoT의 고성장이 예상되면서 국가간 및 기업간 주도권을 확보하기 위한 경쟁이 가속화될 전망이다.

IoT는 기존 가치를 상호 연결하여 새로운 가치를 창출하는 혁명적 플랫폼으로 글로벌 ICT 기업들은 주도권 확보를 위해 플랫폼(OS) 개발·출시 등을 통한 생태계 확장 경쟁이 본격화될 것으로 예상된다. IoT를 구현하기 위해서는 센서/상황 인지 기술, 통신/네트워크 기술, 자율적/지능형 플랫폼 기술, 빅데이터 기술 등 다양한 형태의 기술이 요구된다. 통신/네트워크 기술로는 이동통신, 인터넷, NFC(Near Field Communication)

등이 활용될 수 있는데, 이 중 근거리무선통신 기술이 활용도 및 중요도에서 최우선 순위를 가질 것으로 예측된다. IoT는 우리 주변의 사물들에 네트워크를 연결하고, 지능화함으로써 그 사물의 가치를 증대시키는 것을 의미하기 때문이다.

블루투스(Bluetooth), 와이파이(Wifi), 지그비(Zigbee)등 다양한 근거리무선통신기술이 개발 및 사용되고 있는데, 이 기술들의 공통점은 ISM(Industrial Scientific Medical) 대역으로 일컬어지는 2.4GHz와 5GHz의 주파수 대역을 사용하여 근거리 범위에서 휴대폰, 휴대장치, 네트워크 AP 및 기타 주변 장치 상호간에 무선으로 자유로운 데이터 교환이 이루어지는 것이다.

이와 같이 ISM 대역인 2.4GHz 대역(2.4~2.483GHz)과 5GHz 대역(5.725~5.85GHz)을 이용한 무선통신 네트워크 기반 기술이 광범위하게 사용되어져 왔다. 블루투스, 와이파이, 지그비 이외에도 2.4GHz 대역을 이용한 무선통신 기술은 ITS(Intelligent Transport System)의 서브시스템 분야인 주차관리 시스템 등에 사용되고 있다. 5GHz 대역은 DSRC(Dedicated Short Range Communication)이 적용된 ETCS(Electronic Toll Collection System)에 사용되고 있으며, 스마트톨링 시스템(Smart Tolling System)에도 사용될 예정이다.

결국 2.4GHz와 5GHz ISM 대역을 이용한 근거리무선

<sup>†</sup>Corresponding Author

성명 : 박 기 동  
소속 : 동강대학교 전기전자과  
주소 : 광주 북구 동문대로 50(두암동)  
전화 : 062-520-2355  
E-mail : keedong0@nate.com

통신망이 IoT의 근간을 이룰 것은 확실시 되고 있는 상황이다. 이 같은 상황 속에서 무선통신망의 구축을 위해 가장 기본적으로 핵심적인 부품 중 하나는 바로 신호를 송수신 할 수 있는 고성능 안테나의 개발일 것이다. 따라서 본 논문에서는 계단형 슬롯을 갖는 직사각형 방사패치를 이용하여 2.4GHz와 5GHz ISM 대역에서 모두 사용할 수 있는 개구결합 마이크로스트립 안테나를 제안하였다.

안테나 설계에 시간영역 유한차분(FDTD : Finite Difference Time Domain)을 이용하였다[1,2]. 안테나 설계 과정에서 안테나의 구조 파라미터들이 공진주파수 천이(resonance frequency shift), 입력임피던스 정합(input impedance matching), 산란계수(S<sub>11</sub>)에 미치는 영향을 살펴보았다.

그리고 제안한 안테나에 대한 S<sub>11</sub>의 해석 결과를 전자파 해석 툴인 HFSS의 결과와 비교하였으며, 방사패턴(radiation pattern)을 HFSS로 해석하여 제시하였다.

### 2. 안테나 구조

그림 1은 본 논문에서 설계한 2.4GHz와 5GHz ISM 이중대역에서 사용가능한 마이크로스트립 안테나의 구조를 나타낸다.

안테나의 방사소자로 한 쌍의 계단형 슬롯을 갖는 직사각형 패치를 사용하였다[3,4]. 계단형 슬롯에서 폭 W<sub>1</sub>을 갖는 슬롯의 길이는 L/2-L<sub>d</sub>+D<sub>p</sub>이고 폭 W<sub>2</sub>을 갖는 슬롯의 길이는 L/2-L<sub>d</sub>-D<sub>p</sub>이다. 안테나 급전은 마이크로스트립 선로에 의한 일자형 개구결합 급전방식을 선택하였다.

개구결합 급전은 접지면에 의해 급전선로와 방사소자가 분리되므로 독립적으로 설계가 가능하고 안테나의 방사 손실을 줄일 수 있는 장점 때문에 마이크로스트립 안테나 설계 시 유용하게 사용된다. 접지면의 개구 모양은 직선편과 마이크로스트립 안테나를 설계할 경우 단순히 일자형[1]이 사용되지만 원형편과 마이크로스트립 안테나를 설계할 경우 직교 교차 슬롯(Orthogonal cross-slots)[5], 경사 비선형 결합 슬롯(Inclined nonlinear coupling slot)[6], 바람개비형 슬롯[7], 변형된 H형 슬롯[8]등 다양한 형태가 사용된다.

안테나 설계에 사용된 기판은 H<sub>1</sub>=0.8mm, H<sub>2</sub>=1.6mm높이의 ε<sub>r1</sub>=ε<sub>r2</sub>=2.6인 테프론 기판을 선택하였다. 중심 주파수를 각각 f<sub>c1</sub>=2.44GHz, f<sub>c2</sub>=5.79GHz로 선택하여 안테나의 구조 파라미터에 대한 초기값은 다음과 같이 정하였다.

방사패치 길이 L은 L<sub>1</sub>=38.1mm≐λ<sub>P1</sub>/2와 L<sub>2</sub>=16.1mm≐λ<sub>P2</sub>/2의 중간값 28mm, 방사패치 폭 W는 L의 0.82배인 23mm로 하였고 스텔브 길이 L<sub>S</sub>는 7.75mm≐0.22λ<sub>2</sub>로 하였다[9]. 개구 길이 A<sub>L</sub>은 f<sub>c1</sub>에서 방사패치의 전자기적 결합이 최대가 되도록 10mm≐0.082λ<sub>01</sub>로 하였고 개구 길이 A<sub>W</sub>는 A<sub>L</sub>의 0.1배인 1mm로 하였다[9]. 여기서 λ<sub>P1</sub> = c/f<sub>1</sub>/√ε<sub>r1</sub>, λ<sub>P2</sub> = c/f<sub>2</sub>/√ε<sub>r2</sub>, λ<sub>2</sub> = c/f<sub>2</sub>/√ε<sub>ef2</sub>, λ<sub>01</sub> = c/f<sub>1</sub>이다.

마이크로스트립 선로의 폭 W<sub>f</sub>는 f<sub>c1</sub>에서 50Ω의 급전 선로가 되도록 2.2mm로 하였고 W<sub>1</sub>=W<sub>d</sub>=1mm로 가

정하였다.

FDTD로 해석할 때 단위격자 크기 δ<sub>x</sub>=δ<sub>y</sub>=0.25mm, δ<sub>z</sub>=0.2mm, 시간스텝 δ<sub>t</sub>=0.34ps, 총 반복 시간스텝 수 n=50,000으로 계산하여 시간영역 파형을 얻었으며, 이 시간영역 파형에 대해 이산푸리에변환(Discrete Fourier Transform)을 적용하여 주파수영역 정보를 구하였다[3,4].

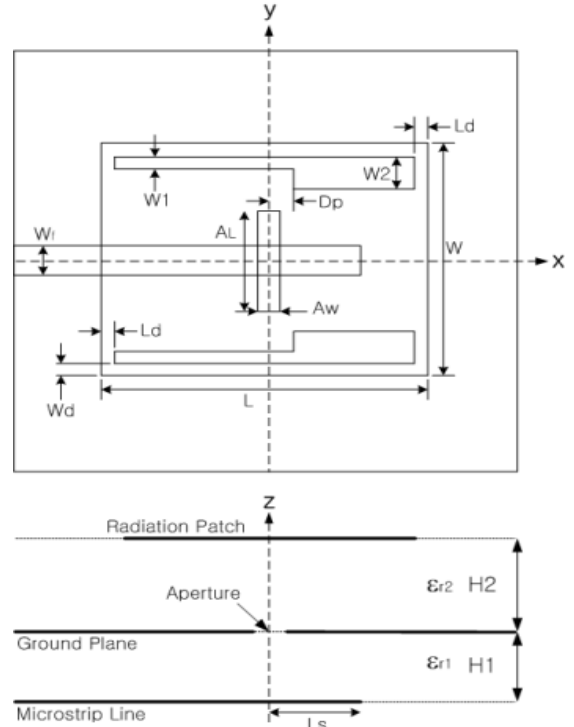


Fig. 1. Aperture-coupled microstrip antenna with step slots for dual ISM band.

### 3. 설계파라미터 고찰

안테나의 구조 파라미터들이 공진주파수의 변화, 입력임피던스 정합 및 S<sub>11</sub>에 미치는 영향을 살펴보고, 계단형 슬롯을 갖는 이중 ISM 대역용 개구결합 마이크로스트립 안테나 설계의 최적화에 활용하였다.

그림 2는 L<sub>d</sub>의 변화에 따른 공진주파수를 도시한 것으로 f<sub>r1</sub>, f<sub>r2</sub>는 각각 첫 번째와 두 번째 공진주파수를 나타낸다. D<sub>p</sub>=2mm, W<sub>2</sub>=7mm로 가정하였고 나머지 파라미터는 초기값을 사용하였다. L<sub>d</sub>의 값이 증가함에 따라 f<sub>r1</sub>은 거의 변화가 없지만 f<sub>r2</sub>는 상당히 크게 올라가는 것을 확인할 수 있다. 따라서 L<sub>d</sub>의 값을 증가시키면 공진주파수의 비(f<sub>r2</sub>/f<sub>r1</sub>)가 큰 안테나를 설계할 수 있다. 본 논문에서는 공진주파수가 중심 주파수 f<sub>c1</sub>, f<sub>c2</sub> 부근의 값을 나타내는 L<sub>d</sub>=8mm를 설계 파라미터로 선택하였다.

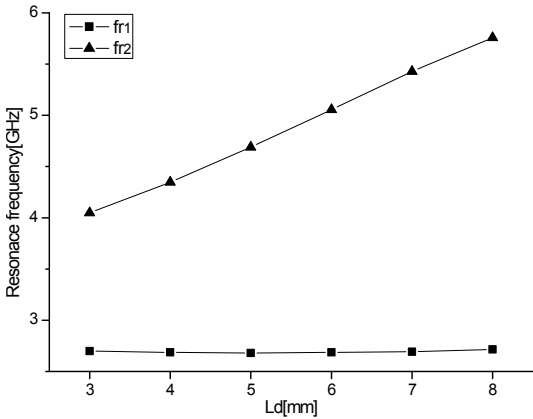
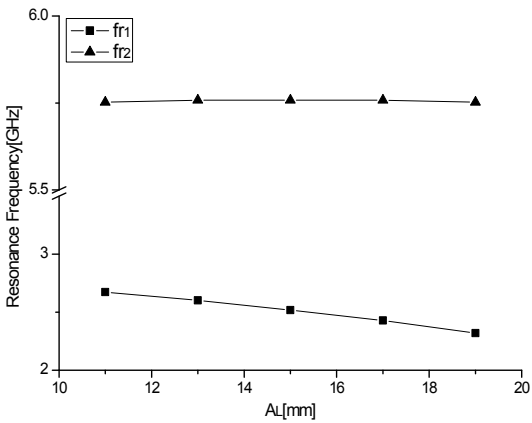
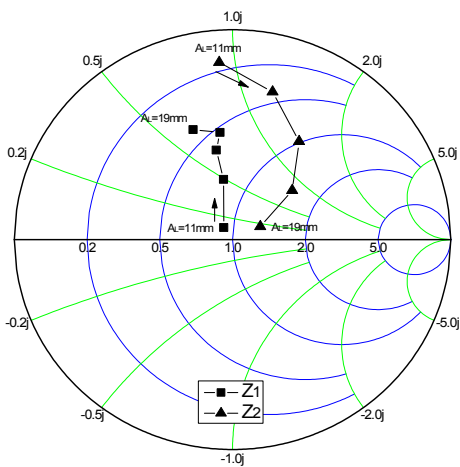


Fig. 2. Change of resonance frequency and -10dB bandwidth versus  $L_d$ .



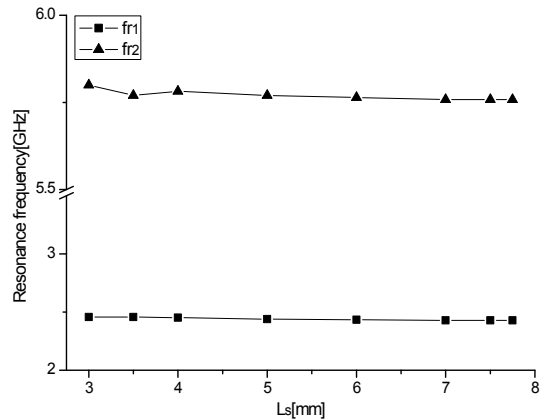
(a) resonance frequency



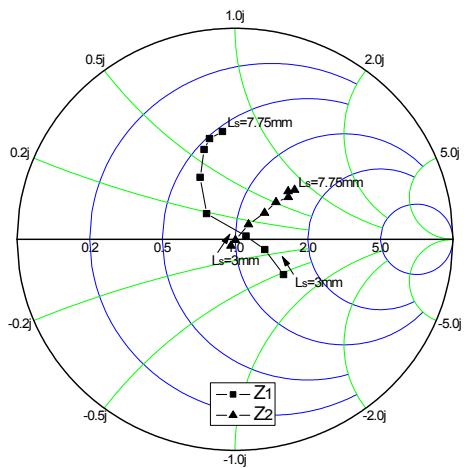
(b) input impedance

Fig. 3. Change of resonance frequency and input impedance versus  $A_L$ .

그림 3은 다양한  $A_L$ 에 의한 공진주파수와 입력 임피던스 변화를 도시한 것으로  $Z_1$ ,  $Z_2$ 는 각각  $f_{r1}$ ,  $f_{r2}$ 에서의 입력 임피던스를 나타낸다.  $D_p=2\text{mm}$ ,  $W_2=7\text{mm}$ ,  $L_d=8\text{mm}$ 로 가정하였고 나머지 파라미터는 초기값을 사용하였다.  $A_L$ 의 값이 증가하면  $f_{r1}$ 은 약간 감소하지만  $f_{r2}$ 는 거의 변화가 없다. 그리고  $A_L$ 의 값이 증가함에 따라  $Z_1$ 는 스미스차트의 중심점(1,0)에서 점점 멀어지나  $Z_2$ 는 반대로 스미스차트의 중심점에 근접하는 것을 알 수 있다. 따라서 본 논문에서는 공진주파수가 중심 주파수  $f_{C1}$ ,  $f_{C2}$  부근의 값을 갖고 임피던스 정합을 고려하여  $A_L=17\text{mm}$ 을 설계 파라미터로 선택하였다.



(a) resonance frequency



(b) input impedance

Fig. 4. Change of resonance frequency and input impedance versus  $L_s$ .

그림 4는  $L_s$ 의 변화에 따른 공진주파수와 입력 임피던스 변화를 도시한 것이다.  $D_p=2\text{mm}$ ,  $W_2=7\text{mm}$ ,  $L_d=8\text{mm}$ ,  $A_L=17\text{mm}$ 로 가정하였고 나머지 파라미터는 초기값을 사용하였다.  $L_s$ 의 값이 변화하더라도  $f_{r1}$ ,  $f_{r2}$ 는 중심 주파수  $f_{C1}$ ,  $f_{C2}$  부근에서 거의 변화가 없다.

$Z_1$ 는  $L_S$ 의 값이 증가함에 따라 스미스차트의 중심점에서 가장 가까워졌다가  $L_S=4\text{mm}$ 를 기준으로 점점 멀어지고  $Z_2$ 는  $L_S$ 의 값이 증가하면 스미스차트의 중심점으로부터 점점 멀어지는 것을 알 수 있다. 따라서 본 논문에서는 2.4GHz와 5GHz 대역에서 최적의 임피던스 정합을 위해  $L_S=4\text{mm}$ 를 설계 파라미터로 선택하였다.

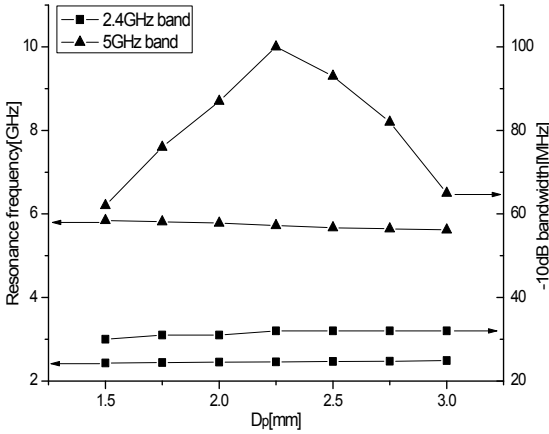


Fig. 5. Change of resonance frequency and -10dB bandwidth versus  $D_p$ .

그림 5는  $D_p$ 의 변화에 따른 공진주파수와  $S_{11}$ 의 -10dB 대역폭 변화를 도시한 것이다.  $W_2=7\text{mm}$ ,  $L_d=8\text{mm}$ ,  $A_L=17\text{mm}$ ,  $L_S=4\text{mm}$ 로 가정하였고 나머지 파라미터는 초기값을 사용하였다.  $D_p$ 의 값이 커짐에 따라 2.4GHz 대역의 경우  $f_{r1}$ 과 -10dB 대역폭 둘 다 거의 변화가 없지만 5GHz 대역의 경우  $f_{r2}$ 는 약간 감소하고 -10dB 대역폭은 크게 변동하는 것을 알 수 있다.

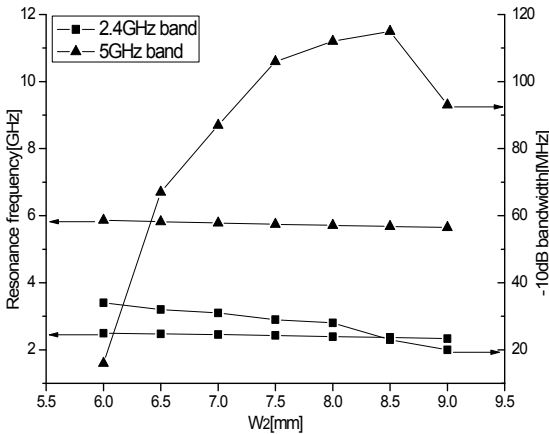


Fig. 6. Change of resonance frequency and -10dB bandwidth versus  $W_2$ .

그림 6은  $W_2$ 의 변화에 따른 공진주파수와  $S_{11}$ 의 -10dB 대역폭 변화를 도시한 것이다.  $D_p=2\text{mm}$ ,  $L_d=8\text{mm}$ ,  $A_L=17\text{mm}$ ,  $L_S=4\text{mm}$ 로 가정하였고 나머지 파라미터는 초기값을 사용하였다.  $W_2$ 의 값이 커짐에 따라 2.4

GHz 대역의 경우  $f_{r1}$ 과 -10dB 대역폭 둘 다 감소하며 5GHz 대역의 경우  $f_{r2}$ 는 약간 감소하고 -10dB 대역폭은 크게 증가하는 것을 알 수 있다.

본 논문에서는 그림 5와 6으로부터 공진주파수가 중심 주파수  $f_{c1}$ ,  $f_{c2}$  부근의 값을 나타내는  $D_p=2\text{mm}$ ,  $W_2=7\text{mm}$ 을 설계 파라미터로 선택하였다.

표 1은 제안한 안테나에 대한 이중대역 동작 특성을 정리한 것이다.  $W_2=7\text{mm}$ 로 가정하였고 나머지 파라미터는 초기값을 사용하였다. 앞서의 고찰 결과처럼  $L_d$ 를 증가시키면 공진주파수의 비  $f_{r2}/f_{r1}$ 도 증가하지만, 이때  $A_L$ 과  $L_S$ 를 서로 상반되게 적절히 조절해야만 임피던스 정합이 이루어져 이중대역 동작이 나타나는 것을 알 수 있다. 이는  $A_L$ 를 증가시키면  $L_S$ 는 감소시키고  $A_L$ 를 감소시키면  $L_S$ 는 증가시키는 방향으로 조절하는 것을 의미한다.

Table 1. Dual band performance of the proposed antenna.

$L_d$ (mm)	$A_L$ (mm)	$L_S$ (mm)	$f_{r1}$ (GHz), BW (MHz)	$f_{r2}$ (GHz), BW (MHz)	$f_{r2}/f_{r1}$
2	10.0	9.25	2.710, 23.0	3.784, 21.4	1.40
3	10.5	7.75	2.674, 23.3	4.048, 21.6	1.51
4	11.5	7.00	2.638, 25.7	4.342, 25.7	1.65
5	12.5	6.25	2.602, 27.7	4.672, 31.6	1.80
6	13.5	5.50	2.566, 29.1	5.038, 40.7	1.96
7	15.0	4.75	2.518, 30.4	5.428, 62.6	2.16
8	17.0	4.00	2.452, 30.8	5.782, 87.1	2.36

#### 4. 설계 결과 검토

앞 장의 설계파라미터 고찰을 통해 2.4GHz와 5GHz ISM 이중대역에서 사용가능한 개구결합 마이크로스트립 안테나를 설계하는데 필요한 최적의 설계 파라미터 값을 얻었고 그 값을 표 2에 제시하였다.

그림 7은 제안한 안테나에 대한  $S_{11}$ 의 해석 결과를 전자파 해석 툴인 HFSS의 결과와 비교하여 도시한 것이다. 중심주파수의 경우 2.4GHz 대역과 5GHz 대역에서 HFSS는 2.44GHz, 5.722GHz로 FDTD에 비해 12MHz, 60MHz 낮게 나타났으며 -10dB 대역폭은 FDTD의 경우 30.8MHz(2.434~2.465GHz)와 87.1MHz(5.74~5.827GHz), HFSS의 경우 26MHz(2.424~2.45GHz)와 108MHz(5.668~5.776GHz)로 나타났다. 두 해석 결과가 약간의 차이를 보이지만 비교적 잘 일치함을 알 수 있고 2.4GHz와 5GHz ISM 대역에서 사용가능한 것을 보여준다.

Table 2. Optimal design parameters for dual ISM band of 2.4GHz and 5GHz(unit : mm).

파라미터	값	파라미터	값
$D_p$	2	$A_w$	1
$L_d$	8	$W_d$	1
$L_s$	4	$W_1$	1
$A_L$	17	$W_2$	7

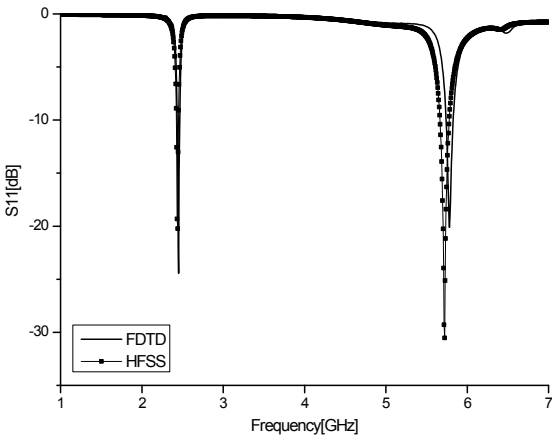


Fig. 7. Comparison of scattering parameters  $S_{11}$  for the proposed antenna.

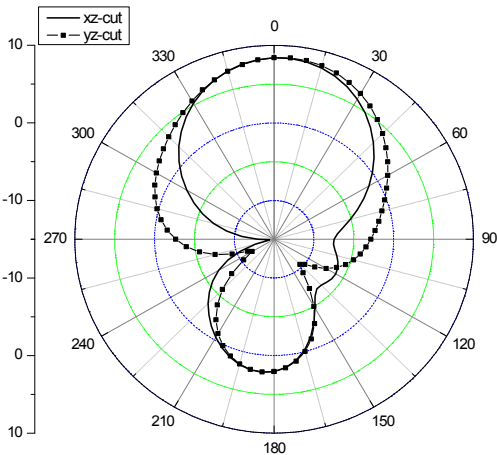


Fig. 8. Radiation patterns in 2.4GHz band( $f_{r1}=2.44GHz$ ).

그림 8, 9는 각각 제안한 안테나에 대한 2.4GHz와 5GHz 대역에서 HFSS로 해석한 방사패턴을 도시한 것이다. 방사패턴의 모양은 기존의 일자형 개구슬롯을 가진 ISM대역용 이중대역 마이크로스트립 안테나에 대해 측정한 방사패턴과 유사하게 나타난다[1].

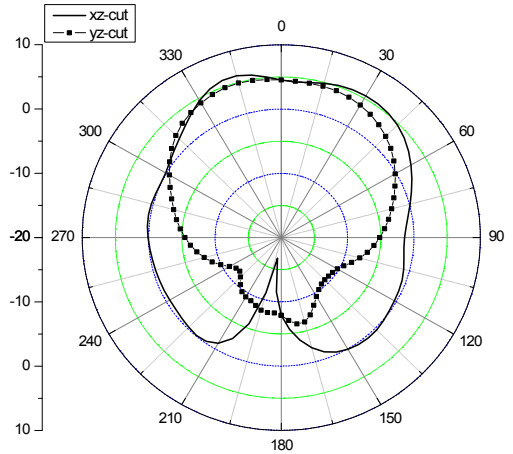


Fig. 9. Radiation patterns in 5GHz band( $f_{r2}=5.722GHz$ ).

표 3은 방사패턴의 해석 결과를 비교하여 정리한 것이다. 최대 이득은 2.4GHz대역에서 더 크게 나타나고 반치폭은 5GHz대역에서 약간 더 넓게 나타나는 것을 알 수 있다. 이는 HFSS로 해석할 때 2.4GHz와 5GHz의 대역에서 동일한 방사전력을 가정하면 반치폭이 넓어질수록 최대이득은 작아지게 된다. 즉 2.4GHz대역에서는 반치폭이 좁아 최대이득이 커지는 반면 5GHz대역에서는 반치폭이 넓어 최대이득이 작아지는 것으로 설명할 수 있다.

그림 7의  $S_{11}$ 과 그림 8, 9의 방사패턴으로부터 제안한 계단형 슬롯을 갖는 개구결합 마이크로스트립 안테나는 충분히 2.4GHz와 5GHz ISM 이중대역에서 사용가능한 것을 확인할 수 있다.

Table 3. Summary of radiation patterns.

측정면	xz-plane( $\phi=0^\circ$ )		yz-plane( $\phi=90^\circ$ )	
	2.4GHz	5GHz	2.4GHz	5GHz
반치폭	$62^\circ$	$95^\circ$	$69^\circ$	$96^\circ$
주엽위치	$\theta=0^\circ$	$\theta=-15^\circ$	$\theta=5^\circ$	$\theta=-15^\circ$
최대이득	8.39dB	6.04dB	8.45dB	4.88dB

### 5. 결론

본 논문에서는 FDTD를 이용하여 2.4GHz와 5GHz ISM 이중대역에서 사용가능한 개구결합 마이크로스트립 안테나를 제안하였다. 안테나가 이중대역에서 동작하도록 방사소자는 계단형 슬롯을 갖는 직사각형 패치를 사용하였다.

설계 과정에서 안테나의 구조 파라미터들이 공진주파수 천이 변화, 입력임피던스 정합도,  $S_{11}$ 의 -10dB 대역폭 변화에 미치는 영향을 살펴보았다. 설계 파라미터 중  $D_p$ 와  $W_2$ 는 공진주파수의 비( $f_{r2}/f_{r1}$ )를 미세하게,  $L_d$ 는 크게 조절할 때 활용될 수 있다. 이 때 입력임피

던스 정합을 위해  $A_L$ 과  $L_s$ 를 서로 상반되게 적절히 조절해야만 이중대역에서 동작 특성이 나타나게 된다.

이와 같은 설계 파라미터들의 고찰을 안테나 설계의 최적화에 활용하여 2.4GHz와 5GHz ISM 이중대역에서 사용가능한 개구결합 마이크로스트립 안테나를 설계하였다. 그리고 제안한 안테나에 대한 설계 결과의 타당성 및 실효성을 검증하기 위해,  $S_{11}$ 의 해석 결과를 전자파 해석 툴인 HFSS의 결과와 비교하여 비교적 잘 일치함을 확인하였다.

따라서 본 논문에서 제안한 계단형 슬롯을 갖는 이중 ISM 대역용 개구결합 마이크로스트립 안테나는 2.4GHz와 5GHz 대역을 사용하는 NFC, DSRC분야에서 충분히 사용될 수 있음을 확인하였다.

향후 과제는 제안한 안테나를 제작하여  $S_{11}$ , 방사패턴 등을 측정함으로써 설계의 신뢰성과 안테나의 실효성을 검증하고, 제안한 안테나를 기반으로 배열 안테나를 설계하여 산업현장에서 사용가능한 안테나를 구현하는 것이다.

## 참고문헌

1. Park, K. D., Jeong, M. S. and Lim, Y. S., "Dual-Band Microstrip Antenna for ISM Band using Aperture coupled Cross Patch," J. KIEES, Vol. 14, No. 5, 479-488 (2003).
2. Park, K. D., "Wave Propagation Characteristics of Microstrip Resonator and Coupled Microstrip Lines on Magnetized Ferrite," J. KICS, Vol. 35, No. 6, 149-155 (2010).
3. Lu, J. H., "Single-feed dual-frequency rectangular microstrip antenna with pair of step-slots," Electronic Lett., Vol. 35, 354-355 (1999).
4. Wong, K. L., Compact and Broadband Microstrip antennas, John Wiley & Sons, Inc. (2002).
5. Huang, C. Y., Wu, J. Y. and Wong, K. L., "Cross-slot-coupled Microstrip Antenna and Dielectric Resonator Antenna for Circular Polarization," IEEE Trans. Antennas Propagation, Vol. 47, No. 4, 605-609 (1999).
6. Huang, C. Y., Wu, J. Y. and Wong, K. L., "Slot-coupled Microstrip Antenna for Broadband Circular Polarization," Electronic Lett., Vol. 34, No. 9, 835-836 (1998).
7. Park, K. D., "The Pinwheel-slot-coupled Microstrip Antenna for Circular Polarization," J. KICS, Vol. 35, No. 10, 220-224 (2010).
8. Park, K. D., "Modified H-slot Aperture-coupled Circular Polarization Microstrip Antennas for 2.4GHz ISM band," J. KICS, Vol. 37, No. 3, 109-114 (2012).
9. Sainati, R. A., CAD of Microstrip Antennas for Wireless Communications, Artech House, Inc. (1996).